

机械振动分析与故障诊断技术在风力发电机组中的应用

张付庆, 徐爱辉

(金能化学(青岛)有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 本文探讨了机械振动分析与故障诊断技术在风力发电机组中的应用。首先, 介绍了风力发电的重要性和发展趋势以及机械振动对风力发电机组运行的影响, 从而强调了振动分析与故障诊断技术的必要性。其次, 阐述了风力发电机组机械振动的基础理论, 包括机械振动的基本概念、分类、产生原因以及对风力发电机组性能的影响。再次, 详细讨论了机械振动分析技术, 包括振动信号的采集与处理、数据分析方法以及振动特征的提取与识别。最后, 重点分析了故障诊断技术在风力发电机组中的应用, 包括常见故障类型及特征、故障诊断技术与方法、故障诊断系统的设计与实现, 并通过具体案例展示了故障诊断技术的应用效果。本文旨在为提高风力发电机组的运行稳定性和可靠性提供理论支持和技术指导。

关键词 风力发电机组; 机械振动; 振动分析; 故障诊断技术; 故障类型

中图分类号: TM61

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)08-0013-03

风能作为可再生能源的重要组成部分, 在全球能源结构转型中扮演着关键角色。然而, 风力发电机组在运行过程中常受到机械振动的影响, 这不仅降低了发电效率, 还可能缩短设备寿命并引发故障。因此, 对风力发电机组的机械振动进行精确分析和有效诊断至关重要。

1 风力发电机组机械振动理论基础

1.1 机械振动的基本概念和分类

机械振动是指机械或结构在平衡位置附近的微小往复运动。任何物体只要具备惯性和弹力, 在受到外部激励作用时, 都会产生振动。机械振动可以分为多种类型, 从振动性质来看, 主要可以分为自由振动、受迫振动和共振等。其中, 自由振动是系统在没有外部激励的情况下, 由于初始扰动而产生的振动; 受迫振动则是系统在外界周期性激励作用下的振动^[1]; 当外部激励的频率与系统的固有频率相等或接近时, 系统会产生共振, 此时振动的幅度会显著增大。

1.2 风力发电机组机械振动的产生原因

风力发电机组在运行过程中, 机械振动的产生原因多种多样。首先, 由于风速的波动性和不稳定性, 风力发电机组的风叶在受到风力作用时会产生振动。其次, 风力发电机组的机械部件在长时间运行过程中, 由于磨损、疲劳或损坏等因素, 也会导致振动产生。此外, 风力发电机组的安装误差、地基稳定性等因素

也可能引发振动。具体来说, 风叶失衡是一个重要的振动产生原因。由于风叶在制造或安装过程中可能存在重量或结构上的缺陷, 导致风叶在旋转过程中产生不平衡力, 进而引发振动。另外, 风叶故障也是一个常见的振动产生原因。风叶在长时间运行中可能会出现疲劳或损坏, 这些故障会导致风叶在运行时产生异常振动。

1.3 振动对风力发电机组性能的影响

机械振动对风力发电机组的性能有着显著的影响。首先, 振动会降低风力发电机组的发电效率。当风力发电机组受到振动时, 其内部机械部件的运行状态会发生变化, 可能导致能量损失增加, 从而降低发电效率^[2]。其次, 振动还会对风力发电机组的设备寿命产生不良影响。长期的振动会导致机械部件的疲劳损伤, 加速设备的老化过程, 缩短设备的使用寿命。此外, 振动还可能引发设备故障, 甚至造成安全事故, 给风力发电系统的正常运行带来严重威胁。因此, 对风力发电机组的机械振动进行深入分析和有效诊断, 对于提高风力发电机组的运行稳定性和可靠性具有重要意义。

2 机械振动分析技术

2.1 振动信号采集与处理

在风力发电机组中, 机械振动信号采集是分析过程中关键的第一步。首先, 在风力发电机组的关键部件(如风轮叶片、齿轮箱、发电机等)上安装适合的

传感器, 这些传感器能够实时感应并记录机械部件的振动情况。这些传感器通常包括加速度传感器、位移传感器和速度传感器等, 它们能够将机械振动转化为电信号。采集到的原始振动信号往往包含噪声、干扰和冗余信息, 因此需要进行预处理以提高信号的质量。预处理过程可能包括信号放大、滤波和降噪等步骤。信号放大是为了增强信号幅度以便于后续处理; 滤波则是为了去除信号中的高频噪声和低频干扰; 降噪技术如小波变换、经验模态分解 (EMD) 等则能够进一步减少信号中的随机波动, 使振动信号更加清晰和纯净。

2.2 振动数据分析方法

振动数据分析是风力发电机组故障诊断中不可或缺的一环, 它是从振动信号中提取有用信息的关键步骤。在振动数据分析中, 有多种方法可供选择, 每种方法都有其特定的应用场景和优势。首先, 时域分析是一种直观且基础的分析方法, 它主要关注振动信号随时间的变化规律^[3]。通过观察信号的波形、峰值、周期等参数, 技术人员可以初步判断风力发电机组的振动状态和可能存在的问题。例如, 如果振动信号的波形出现异常波动, 或者信号的峰值超过了正常范围, 那么这可能意味着风力发电机组的某个部件出现了故障或磨损。其次, 频域分析是一种将振动信号从时间域转换到频率域的分析方法。在频域分析中, 技术人员可以通过计算信号的频谱、功率谱等参数, 获取振动信号的频率成分和分布信息。这些信息有助于识别振动的主要来源和类型, 例如不平衡、松动、共振等。频域分析中的傅里叶变换和快速傅里叶变换 (FFT) 是两种常用的分析工具, 它们能够将复杂的振动信号分解为一系列简单的正弦波, 从而便于分析和处理。最后, 时频分析是一种结合了时域分析和频域分析优势的分析方法。它能够在时间和频率两个维度上同时展现振动信号的变化特征, 这对于分析非平稳信号和复杂振动情况特别有效。时频分析中的短时傅里叶变换 (STFT)、小波变换和 Wigner-Ville 分布等方法都是常用的分析工具。通过这些方法, 技术人员可以更加深入地了解风力发电机组的振动特性, 从而更加准确地诊断故障并采取相应的维修措施。

2.3 振动特征提取与识别

在振动数据分析的基础上, 需要进一步提取振动信号中的关键特征参数。这些特征参数能够反映风力发电机组的振动状态和可能存在的故障类型。常用的特征参数包括峰值、均方根值、峭度、偏度等统计特

征, 以及频域特征如主频、带宽等。随着人工智能技术的发展, 基于机器学习、深度学习等算法的振动特征识别技术得到了广泛应用。这些算法能够自动学习振动信号中的特征模式, 并构建分类器对故障进行自动识别和分类^[4]。例如, 使用支持向量机 (SVM)、随机森林、神经网络等算法对振动特征进行训练和学习, 可以实现对风力发电机组故障的快速准确识别。在风力发电机组中, 通过应用机械振动分析技术, 可以实时监测机组的振动状态, 及时发现潜在的故障隐患, 并为故障的诊断和修复提供科学依据。这对于提高风力发电机组的运行稳定性、延长设备寿命、降低运维成本具有重要意义。

3 故障诊断技术在风力发电机组中的应用

3.1 常见故障类型及特征

风力发电机组在运行时会遇到多种故障, 这些故障与其复杂的结构和多变的工作环境密切相关。首先是叶片故障。叶片作为捕捉风能的主要部件, 长时间暴露于恶劣的自然环境中, 容易因沙尘、盐分等污染物的侵蚀使表面粗糙度增加。这不仅影响了风能的捕获效率, 还增加了风阻, 导致叶片在运行时产生异常振动。此外, 由于振动、疲劳或安装不当等原因, 叶片内部的螺栓、紧固件等可能会松动, 导致叶片结构的不稳定。更为严重的是, 在极端天气条件下, 如雷电、强风等, 叶片可能会受到严重的冲击而产生裂纹, 这不仅影响叶片的强度和稳定性, 还可能导致叶片断裂。其次是齿轮箱故障。齿轮箱是风力发电机组中的关键传动部件, 负责将主轴的低速旋转转换为发电机所需的高速旋转。然而, 齿轮箱中的齿轮和轴承在长期运行过程中可能会因摩擦和磨损而受损。齿轮磨损会导致齿间的间隙增大, 产生异常噪声和振动。而轴承损坏则会导致齿轮箱产生严重的振动和噪声, 影响机组的正常运行。最后是发电机故障。发电机作为风力发电机组的核心部件, 负责将机械能转换为电能。然而, 发电机的绕组可能会因绝缘老化、潮湿或机械损伤等原因而出现短路, 导致发电机产生异常振动和高温。此外, 绕组中的导线可能会因各种原因断裂或接触不良, 导致发电机无法正常发电。更为严重的是, 发电机的绝缘层可能会因老化、潮湿或过热而损坏, 失去其应有的绝缘效果, 导致绕组之间或绕组与地之间发生短路, 对发电机的性能和寿命造成严重影响。

3.2 故障诊断技术与方法

针对风力发电机组的常见故障类型, 如叶片故障、

齿轮箱故障和发电机故障等,我们可以采用多种故障诊断技术与方法来进行诊断和识别。首先,振动分析是一种常用的故障诊断技术。通过在风力发电机组的关键部位安装振动传感器,我们可以实时监测机组的振动状况。当机组内部某个部件出现异常时,它通常会产生特定频率和振幅的振动信号^[5]。这些振动信号可以被传感器捕捉并传输到分析系统中。通过分析这些振动信号,可以快速准确地定位到故障发生的具体部件,并据此采取相应的维修措施。其次,温度检测也是一种有效的故障诊断手段。风力发电机组的各个部件在运行过程中会产生一定的热量。当某个部件出现故障时,其温度往往会异常升高。通过在关键部位安装温度传感器,可以实时监测这些部件的温度变化。一旦发现异常温升,可以立即判断该部件可能存在故障,并采取相应的措施进行修复。此外,油液分析在风力发电机组的故障诊断中也发挥着重要作用。特别是对于齿轮箱等润滑系统来说,油液的质量直接关系到设备的正常运行。通过分析油液中的金属颗粒、水分、酸值等指标,可以判断设备的磨损状况和润滑状态。例如,油液中过多的金属颗粒可能意味着齿轮或轴承存在磨损;而油液中的水分和酸值过高则可能意味着润滑系统存在污染或腐蚀。这些分析结果可以帮助预测和识别潜在的故障,从而提前进行维修和更换。最后,随着人工智能技术的快速发展,智能诊断系统在风力发电机组的故障诊断中也得到了广泛应用。这些智能诊断系统基于机器学习、神经网络等先进技术,可以根据历史数据自动学习和识别故障特征。通过训练好的模型,智能诊断系统可以自动对风力发电机组的运行状态进行监测和诊断,并给出相应的维修建议。

3.3 故障诊断系统的设计与实现

设计一个有效的风力发电机组故障诊断系统,关键在于确保系统各组成部分的协同工作以准确识别和诊断潜在故障。系统整体架构通常包括数据采集层、数据处理层、故障诊断层和用户界面层。数据采集层通过传感器和测量设备实时收集风力发电机组的运行数据,如振动信号、温度和油液参数,这些数据是后续分析的基础。数据处理层负责数据的预处理和特征提取。首先,通过数据清洗和标准化确保数据的准确性和可靠性。随后,采用适当的算法如傅里叶变换和小波变换从振动信号中提取关键特征,或使用统计方法和机器学习算法分析温度数据的变化趋势。故障诊断层利用算法和模型进行故障识别和诊断。根据故障类型和特征,选择基于规则、统计或机器学习等方法。

通过比较实时数据与正常模式或历史数据,系统能够判断异常并确定故障类型和位置。此外,先进的机器学习算法如神经网络和支持向量机可用于复杂故障模式的学习与识别。用户界面层以直观易懂的方式展示诊断结果,包括故障类型、位置和严重程度等信息,并提供维修建议。界面设计应简洁明了,支持数据查询和报表生成等交互功能。算法选择对系统性能至关重要。对于振动信号,采用傅里叶变换和小波变换提取特征;对于温度数据,采用阈值判断和趋势预测算法。在选择算法时,需综合考虑准确性、效率和实时性。数据库设计是系统不可或缺的部分,用于存储运行数据、故障记录和维修信息。设计时要考虑数据的可扩展性、安全性和易用性,确保数据的安全存储和方便查询。最后,系统集成与测试是确保系统稳定性和准确性的关键。集成各模块并确保其协同工作,通过模拟故障情况测试系统性能,并不断优化参数和算法以提高诊断能力。

4 结束语

风力发电机组在运行过程中常受到机械振动的影响,这可能导致性能下降甚至设备故障。因此,采用机械振动分析与故障诊断技术对于确保风力发电机组的稳定运行至关重要。通过振动信号的采集、处理和分析,可以精确识别风力发电机组中的潜在故障,并为维修和保养提供科学依据。同时,先进的故障诊断系统能够实现故障的准确诊断和快速响应,从而提高风力发电机组的运行效率和可靠性。这些技术的应用不仅有助于提升风力发电的可持续性,也为可再生能源的发展提供了强有力的技术支持。

参考文献:

- [1] 隋臣伟,李元香.基于振动分析的风力发电机故障诊断方法[J].智能城市应用,2020,03(02):54-55.
- [2] 张润雨,王明昊,尹冰冰.振动分析法在风力发电机组监测与故障诊断中的应用[J].河北农机,2021(09):74-75.
- [3] 蓝瑛,吴治坚.风力发电机组状态监测和故障诊断技术的应用研究[J].应用能源技术,2023(11):38-42.
- [4] 梁萌.振动分析在风电机组机械设备故障诊断中的思考[J].电子乐园,2023(01):160-162.
- [5] 刘福才,王向东.风电机械设备故障诊断中振动分析的应用探究[J].太阳能学报,2023,44(07):552.